

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

А.В. Бизюк, М.В. Чернобрышко, В.Г. Ярещенко

Институт проблем машиностроения НАН Украины, Харьков, Украина

In work is done a comparative analysis of mathematical models of high-rate elasto-plastic deforming of cylindrical shells, which based on comparison with experimental data. An optimum model is a 2-dimension layer with taking into account deformation speed dominance and thermal parameters.

При расчете параметров высокоскоростного упругопластического деформирования конструктивных элементов рациональным является использование упрощенных математических моделей, степень адекватности которых реальным процессам различна. Основным критерием выбора той или иной модели является, наряду с трудоемкостью счетного процесса, мера соответствия теоретических и экспериментальных результатов.

В качестве объекта исследования выбраны конструктивные элементы цилиндрической формы. Разработанная в ИПМаш НАН Украины технология использования широкополосной тензометрической станции для регистрации высокоскоростных процессов позволяет определить величину деформаций и скоростей деформаций на малых интервалах времени (до 5-10 мкс). Цилиндрическая оболочка находится под действием комбинации внутреннего статического и локального ударно-импульсного нагружения большой интенсивности, возникающих, например, при сварке взрывом, детонационно-плазменном напылении и других нестационарных локальных воздействиях.

В очаге нагружения и его окрестности возникает зона пластического деформирования и значительные прогибы, что не дает возможности проводить многократное нагружение в одном и том же месте. Волновой характер процесса деформирования требует охвата точками измерения большой поверхности оболочки, а большие градиенты деформаций в зоне нагружения – достаточной плотности размещения точек измерения. При этом датчики расположены в точках вдоль главных направлений тензора деформации – в осевом и окружном сечениях (см. рис. 1). Принятая схема размещения тензорезисторов позволяет регистрировать главные деформации ε_r и ε_θ в ряде точек поверхности в осевом и меридиональном сечениях.

По результатам серии экспериментов был выполнен сравнительный анализ результатов, полученных численным путем с применением различных математических моделей, с экспериментальными данными. Значения

параметров материала слоя: модуль упругости $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па; коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$; плотность $\rho = 7,8 \cdot 10^3$ кг/м³; предел пластичности $\varepsilon^s = 1,43 \cdot 10^{-3}$; параметры учета влияния скорости деформации $\lambda_n = 0,992$; $D = 396$ с⁻¹; $n = 7,14$.

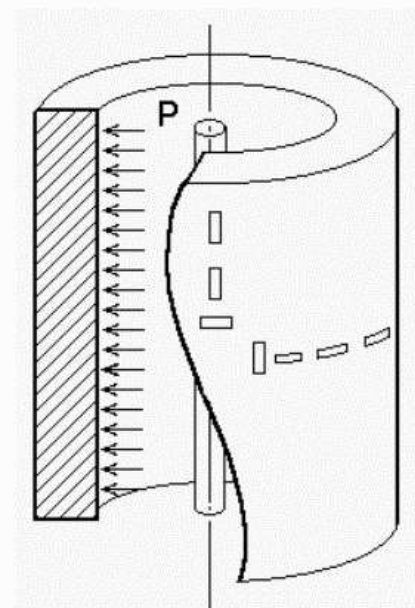


Рис. 1. Схема нагружения оболочки

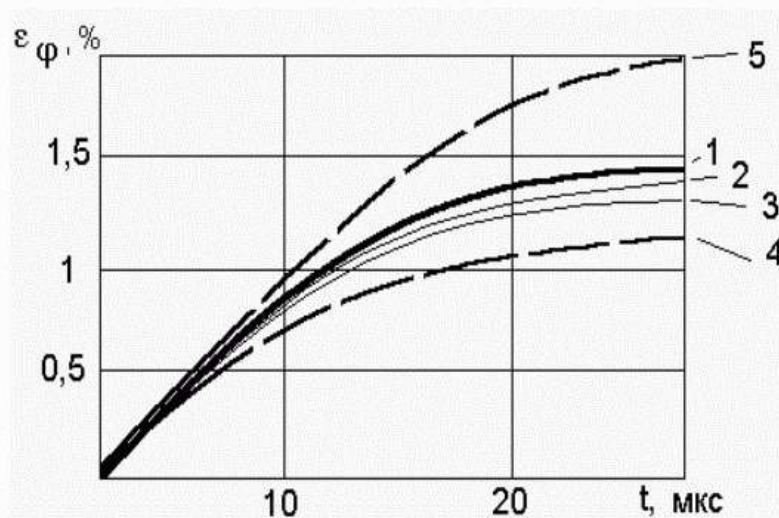


Рис. 2. Сравнение результатов расчетов

На рисунке 2 представлено сравнение экспериментальных (кривая 1) и теоретических данных, полученных при значениях нагрузки $P_m = 3,734 \cdot 10^8$ Па, время затухания импульса $Q = 7,1 \cdot 10^{-6}$ с. В качестве сопоставляемых математических моделей были приняты модель цилиндрического слоя конечной длины с учетом влияния скорости деформации на закон упрочнения материала в степенной форме, а также влияния тепловых параметров (кривая 2). Кривая 3 соответствует результатам, полученным при исследовании движения цилиндрического слоя без учета термокинетических свойств материала. Кривая 4 отражает данные, полученные для одномерной схемы высокоскоростного расширения цилиндра; кривая 5 соответствует результатам, полученным при решении задачи без учета влияния скорости деформации на динамические параметры. Анализ этих результатов показывает, что двумерная постановка задачи позволяет получить приемлемую точность решения, аппроксимируя экспериментальную кривую лучше, чем одномерная схема. Помимо этого следует отметить, что для данного материала (конструкционная сталь X18H10T) существенным является учет влияния скорости деформации на динамические параметры.

Моменты времени, когда скорость деформации равна нулю и в материале начинается разгрузка, определяемые по кривым 2 и 3, приблизительно

равны, сильно отличаясь от времени разгрузки, определяемого по кривой 5.

В таблице приведены значения максимальных окружных и продольных деформаций, измеренных методом динамического тензометрирования [2] и полученных расчетным путем с использованием двумерной модели метания цилиндрического слоя при его гидровзрывном нагружении. Результаты, получаемые с использованием двумерной модели деформирования, хорошо согласуются с экспериментальными данными для широкого класса относительных толщин и при различных нагрузках.

h, см	Заряд ДШ	Экспери- менталь- ные данные	Теоретические данные		Расхождение в % теоретических данных с экспериментальными	
			Без учета темпера- туры	С учетом темпера- туры	Без учета темпера- туры	С учетом темпера- туры
Значение $\varepsilon_{\varphi}^{\max}, \%$						
0,2	1	8,87	8,46	8,51	4,6	4,1
0,8	1	1,36	1,30	1,32	4,4	2,9
0,34	1	4,42	3,99	4,29	9,7	2,9
0,34	2	8,05	7,87	7,93	2,2	1,5
0,34	3	11,04	10,92	10,96	1,08	0,7
Значение $\varepsilon_r^{\max}, \%$						
0,2	1	0,73	0,69	0,71	5,5	2,7

Таким образом, оптимальным следует считать выбор двумерной математической модели упругопластического цилиндрического слоя, учитывающей влияние скорости деформации на величину предела пластичности, а также влияние температурных напряжений.

Литература

1. Лурье А.И. Нелинейная теория упругости. Москва, Наука, 1980.
2. Воробьев Ю.С., Колодяжный А.В., Севрюков В.И., Янютин Е.Г. Скоростное деформирование элементов конструкций. Киев; Наукова думка, 1989. – 192 с.
3. Колодяжный А.В., Меша Ю.В., Чернобрышко М.В. Термокинетический анализ деформирования цилиндрического слоя конечной длины при осесимметричном импульсном нагружении. - Вестник Харьк. гос. политех. ун-та. – Харьков: ХГПУ. – 2000. – Вып. 106 – С.16 – 19.

Поступила в редколлегию 06.09.2001